

이동통신 환경에서 바이트 정렬 가변 길이 터보 코드의 적응 부호화율 적용을 통한 동영상 전송 시스템

정회원 이창우*, 김종원**

Robust Video Transmission System Employing Byte-Aligned Variable-Length Turbo Codes and Its Code-Rate Adaptation over Mobile Communication Channels

Chang-Woo Lee*, Jong-Won Kim** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 회선교환 방식의 이동통신 환경에서 전송 오류에 강인한 동영상 전송 시스템을 구현하기 위해서 채널의 상태에 따라 적응적으로 부호화율을 변화시키는 터보 코드 기반 오류정정 기법을 제안한다. 제안 시스템에서는 먼저 가변길이의 응용계층 단위(segment)로 생성되는 영상 부호화 스트림에 부합하도록 바이트정렬 가변길이(byte-aligned variable-length) 터보 코드를 사용한다. 즉 ITU-T H.263+ 동영상 스트림을 GOB (group of block) 별로 나누고 이를 채널 상태에 따라 적절한 바이트정렬 가변길이 터보 코드를 적용하여 보호하는 것이다. 이를 위하여 제안된 동영상 전송 시스템의 압축 부호화율과 오류정정 부호화율 간의 상관관계를 분석하고 정적인 상황에서 최적의 부호화율을 먼저 모색한다. 또한 실제적인 이동통신 채널을 적절하게 근사하는 시변 레일리 페이딩(Rayleigh fading) 채널을 모델링한 다음 채널 변화에 따라 부호화율을 적응적으로 조절하는 기법을 제안한다. 마지막으로 제안된 적응 기법의 적용에 따른 성능 향상을 동영상 전송 성능의 비교를 통하여 검증한다.

Key Words : turbo code; H.263+; Rayleigh fading channel; code-rate adaptation

ABSTRACT

In this paper, a robust video transmission system is proposed. To effectively prevent the corruption of video stream and its propagation in spatial and temporal domains, a version of turbo code, so-called as byte-aligned variable-length turbo code, is applied. Protection performance of the proposed turbo code is first evaluated by applying it to GOB-based variable-size ITU-T H.263+ video packets, where the protection level is statically controlled based on the joint source-channel criteria. This protection is then extended to support the adaptation of code ratio to best match the time-varying channel condition. The time-varying Rayleigh fading channel is modelled considering the correlation of the fading channel. The resulting performance comparison with the static turbo code as well as the conventional RCPC code clearly demonstrates the possibility of the proposed adaptation approach for the time-varying correlated Rayleigh-fading channel.

1. 서론

최근에 본격적으로 서비스되기 시작한 동기/비동기식 제3세대 이동통신 시스템에서 효과적으로 다

양한 형태의 동영상 서비스를 구현하기 위해서는 이동통신 채널 상으로 압축된 동영상을 견실하게 전송하는 효율적인 기법이 필요하다. 이를 위하여 활발한 연구가 진행되어 왔으며, 이들은 다음과 같

*가톨릭대학교 정보통신전자공학부(changwoo@catholic.ac.kr), **광주과학기술원 정보통신공학과

논문번호 : 040109-0308, 접수일자 : 2004년 3월 9일

**본 연구는 한국 과학재단 목적 기초 연구(No. R05-2001-000-00908-0) 지원으로 수행되었습니다.

은 문제점들을 해결하는 데 초점을 맞추고 있다. 대역폭의 제약이 큰 이동통신 채널에는 고효율의 영상 압축이 적용되어야 하지만 이를 위하여 시간, 공간상의 예측 부호화 기법에 의해서 압축된 동영상 스트림은 의존성이 크게 증대되어 전송 오류에 매우 민감하다. 특히 이동통신 채널에서는 다경로 전송으로 인한 페이딩(fading)의 영향으로 전송 신호의 왜곡이 크다. 따라서 압축된 동영상 신호를 안정적으로 전송하기 위해서는 부호화 단계에서부터 전송 오류에 강인하도록 부호화기를 설계하는 방법, 오류은폐(error concealment)를 이용하여 손상된 정보를 복원하는 방법, 그리고 오류정정 부호화 기법을 사용하여 전송 오류에 미리 대비하는 방법 등이 활용되고 있다^{1,2}. 먼저 오류에 강인한 부호화기를 사용하거나 오류 은폐 기법을 적용하는 경우에는 일정 한도 내에서 전송 오류에 대한 내성을 증가시킬 수 있다고 알려져 있다. 하지만 이동통신 환경과 같이 채널 변화가 심해서 신호의 왜곡이 큰 채널에 대해서는 전송 오류에 대한 대처방안으로 오류정정 부호화 기법이 널리 사용된다. 오류정정 부호의 부가로 인해 전체 전송률이 늘어나는 문제점에도 불구하고, 오류정정 부호화 방식은 궤환(feedback) 채널의 유무에 상관없이 채널에 발생하는 일정수준의 전송 오류를 줄이는 데 매우 효과적이다. 특히 회선교환(circuit switching)을 기반으로 하는 3세대 이동통신 환경의 멀티미디어 단말의 경우에도 3GPP의 3G-H.324 경우와 같이 RCPC(rate compatible punctured convolutional)와 RS(Reed-Solomon) 오류정정 부호의 사용이 구현의 용이함과 유연성에 근거하여 제안되어 있는 상태이다^{3,4}.

한편 Berrou 등이 1993년에 제안한 터보 코드⁵는 Shannon이 제시한 이론적 한계치에 근접하는 오류정정 성능으로 많은 주목을 받고 있다. 터보 코드는 사용되는 인터리버의 크기에 의해서 적용되는 블록의 크기가 정해지므로 압축된 동영상 스트림을 일정한 크기의 블록으로 나누고 터보 코드를 적용해야 한다. 그런데 압축 부호화된 동영상은 일반적으로 픽처(picture), GOB(group of block), 블록(block) 등의 계층별로 부호화되고 각 계층별 정보량은 동영상의 특성에 따라 변화한다. 즉 고정된 크기보다 동영상의 응용계층 단위에 부합되는 가변길이 단위로 처리하는 것이 오류 은폐 등의 복호 후의 후처리에 압축된 동영상의 특성을 이용할 수 있어 유리하다. 따라서 본 논문에서는 동영상의 응용계층 특성과 부합하는 바이트정렬 가변길이

(byte-aligned variable-length) 터보 코드를 채널 환경의 변화에 적응적으로 사용하는 방안을 제시하고 이를 위한 성능평가를 진행한다. 먼저 바이트정렬 가변길이 터보 코드를 ITU-T H.263+ 기법으로 압축된 동영상의 GOB 별로 적용하면서 제안된 동영상 전송 시스템의 압축 부호화율과 오류정정 부호화율 간의 상관관계를 분석한다. 부호화율의 선택이 고정된 상황에서 최적의 터보 부호화율을 모색하고, 이를 기존의 RCPC 부호를 사용한 경우와 비교하여 제안 기법의 가능성을 확인한다. 이어서 이를 확장하여 이동통신 채널의 여러 변수들을 고려하여 실제적인 이동통신 채널을 근사하는 상관성이 있는 시변 레일리 페이딩(time-varying correlated Rayleigh fading) 채널을 모델링하고 채널의 상태를 적응적으로 예측하여 채널의 특성에 따라 오류정정 부호화율을 적용한다. 마지막으로 제안된 적응 기법의 적용에 따른 성능 향상을 모의실험을 통해서 고정 부호화율을 사용한 경우와 비교하여 입증한다.

이와 같이 바이트정렬 가변길이 터보 부호와 적응 부호화율을 동시에 활용하여 이동통신 환경에서 전송 오류에 강인한 동영상 전송 시스템을 제안하는 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동통신 환경을 위한 동영상 전송 시스템과 채널 모델링에 관해서 논하고 3장에서는 바이트정렬 가변길이 터보 코드의 특성을 설명하고 그 성능을 해석하였다. 4장에서는 바이트정렬 가변크기 터보 코드를 사용한 동영상 전송 시스템의 부호화율 최적화와 적응 부호화율을 사용한 경우의 성능을 해석하였다. 마지막 5장에서는 본 논문의 결론을 제시하였다.

II. 이동통신 환경을 위한 동영상 전송 시스템과 채널 모델링

화상전화와 같은 저지연(low-latency) 동영상 전송 서비스를 염두에 두는 경우에는 회선교환 방식으로 이동통신 채널을 통해 동영상을 서비스하는 방안이 제안되고 있다^{1,5}). 회선교환 환경에서 동영상의 전달을 위해서는 동영상 부호화부, 음향 부호화부 및 데이터 처리부만이 아니라 이들을 효율적

1) 3G 이동통신 분야에서는 단기적으로는 지연 및 품질 보장 문제의 측면에서 상대적으로 회선교환 방식이 이점을 가질 수 있다. 하지만 최근의 ALL IP 추세에 따라서 패킷교환 방식의 멀티미디어 서비스로의 수렴이 활발하게 진행되고 있음에 주목해야 한다.

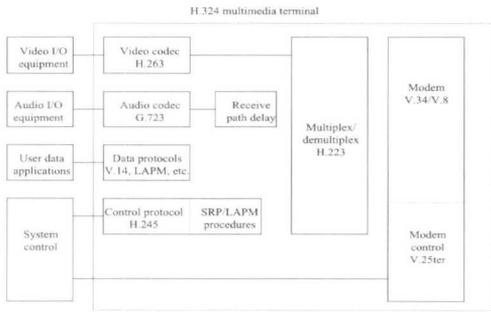


그림 1. 회선교환 방식을 지원하는 H.324 멀티미디어 터미널 구성.

으로 다중화하는 부분이 종합적으로 정의된 H.324 (특히 H.324M) 멀티미디어 터미널 표준이 널리 활용된다¹⁾. 그림 1에서 알 수 있듯이 H.263 등의 동영상 부호기와 G.723 등의 음성 부호기에서 압축된 신호는 H.223 다중화 부에서 다중화된다. 이것이 변조기를 거쳐서 전송되는데 이동통신 채널과 같이 오류 발생 확률이 높은 채널에서는 채널상의 오류에 대처하기 위한 오류정정 부호화가 H.223 계층에서 부가될 수 있으며, H.223-Annex C/D에서는 RCPC와 Reed-Solomon 부호가 각각 정의되어 있다^{3,4)}.

그림 2에는 본 연구에서 제안하는 동영상 전송 시스템의 블록도를 제시하였다. 입력되는 동영상은 H.263+를 이용하여 부호화되고 H.223 다중화부에서 터보 코드가 부가되어 변조기를 통하여 전송된다. 수신측에서는 채널의 상태를 적응적으로 예측한 정보를 궤환 채널을 통하여 부호화기에 되먹임하여 채널의 상태에 따라서 부호화부에서 적응적 부호화율로 오류정정 부호를 부가하도록 한다. 이어서 H.223 역다중화부에서 오류정정 및 검출을 하여 그 결과로서 각 응용계층 전송 단위마다 헤더(header) 정보와 내용(payload) 손실 등의 상태(clean, corrupted, fatal 중의 하나)를 H.263+ 동영상 복호기에 전달하고 이를 참고로 하여 복호가 진행된다.

참고로 본 논문에서는 H.263+의 계층 구조 중에서 GOB(group of block)을 응용계층 전송단위인 AL-SDU(adaptation layer - service data unit)로 한다. 이를 기준으로 오류정정 부호화를 적용하므로 전송한 바와 같이 오류검출과 오류은폐 등을 효율적으로 적용할 수 있다.

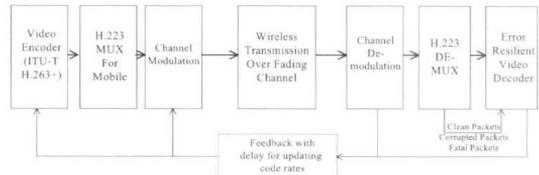


그림 2. 제안하는 이동통신 환경 동영상 전송 시스템 구조

그런데 각 GOB의 정보량은 인트라(intra) 프레임과 인터(inter) 프레임에서 크게 달라지고 영상의 특성에 따라서도 정보량이 달라진다. 따라서 오류정정 부호가 적용되는 블록의 크기가 달라져서 가변길이 특성을 가진다. 구체적으로 QCIF 포맷의 크기를 갖는 동영상의 경우 압축 부호화율을 64kbps로 하였을 때 GOB의 크기가 인트라 프레임인 경우 200~260 bytes 정도이고 인터 프레임인 경우는 80~90 bytes 정도가 보통이다.

한편, 이동통신 채널과 같이 다경로 전송으로 인한 페이딩(multipath fading)이 발생하는 경우에는 단순히 가산 백색 가우시안 잡음이 첨가된 AWGN 채널에 비해서 수신 신호의 진폭 특성이 크게 변하기 때문에 신호의 왜곡이 크다. 만일 BPSK(binary phase shift keying)에 의해서 신호가 전송될 때 동기식 수신기가 사용되어 위상을 수신측에서 완전히 복원할 수 있다면 수신측에서 샘플링되는 신호는 식 (1)과 같은 관계를 갖는다.

$$y = a \cdot x + n \quad (1)$$

여기서 x , y 는 각각 전송 신호와 수신 신호의 샘플링 값이고 a 는 다경로 전송으로 인해서 발생하는 페이딩의 영향을 나타내는 진폭값을 나타내고 n 은 가산 백색 잡음이다. 다경로 전송으로 발생하는 페이딩에 의한 수신 신호의 왜곡을 나타내는 a 값은 다경로 전송 조건에 따라서 달라진다. 만일 뚜렷한 주경로가 없는 경우에는 a 값의 확률 밀도 함수를 레일리(Rayleigh) 분포를 갖는 레일리 페이딩 채널로 모델링할 수 있다¹⁰⁾. 그런데 이동통신 채널은 레일리 페이딩 채널의 진폭값 a 가 일정한 상관성을 갖고 변하는 시변 채널로 모델링할 수 있다. 상관성이 있는 레일리 페이딩(correlated Rayleigh fading) 채널을 모델링하기 위해서 그림 3과 같은 레일리 페이딩 채널 시뮬레이터를 사용하여 레일리 분포를 갖는 랜덤 변수 a 를 발생시킬 수 있다¹⁰⁾.

그림 3에서 n_1 , n_2 는 각각 상관성이 없는 백색 가우시안(white Gaussian) 변수이다.

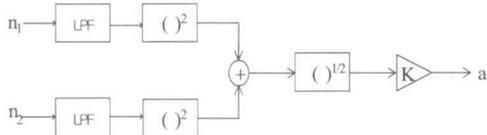


그림 3. 상관성이 있는 시변 레일리 페이딩 채널 시뮬레이터.

만일 수신 신호의 진폭이 상관성이 없고 단순히 확률밀도함수만 레일리 분포를 갖는다면 그림 3의 저역 통과 (low-pass) 필터를 거치지 않고 n_1, n_2 로 레일리 분포를 만들 수 있다. 그런데 수신측의 이동 속도 등을 고려한 실제 환경에 적합한 레일리 페이딩 채널 모델은 시간에 대한 상관성을 갖는 채널인데 이를 구현하기 위해서 n_1, n_2 를 저역 통과 필터링해야 한다. 만일 반송파의 주파수가 f_c 이고 심볼 레이트가 $1/T$ 이라면 정규화된 Doppler frequency는 다음 식과 같다^[10].

$$v_d \equiv f_d T = \frac{v}{c} f_c T \quad (2)$$

식 (2)에서 c 는 빛의 속도이고 v 는 수신기가 움직이는 속도이다. 이때 Clarke^[11]가 제안한 isotropic scattering model에 따르면 페이딩 프로세스의 자기 상관 함수 (autocorrelation function) 은 다음 식과 같다.

$$\phi(k) = J_0(2\pi v_d k) \quad (3)$$

이때 J_0 는 Bessel 함수이다. Doppler frequency를 고려해서 페이딩 채널을 모델링하기 위해서는 그림 3의 저역 통과 필터의 대역폭을 조절해서 구현할 수 있다. 만일 중심주파수 2 GHz를 사용하고 34km/hr의 속도로 이동하는 중에 96kbps의 전송률로 data를 전송할 때 정규화된 Doppler frequency v_d 는 0.00067이 된다. 본 연구에서는 이러한 채널을 그림 3의 레일리페이딩 채널 시뮬레이터의저역 통과 필터의 대역폭을 조절함으로써 모델링하였는데 이때 진폭 a 의 변화를 그림 4에 도시하였다.

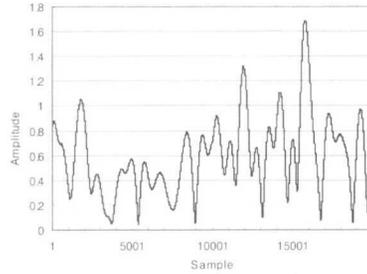


그림 4. 레일리페이딩 채널 시뮬레이터로 발생시킨 진폭 a 의 변화.

III. 바이트정렬 가변길이 터보 코드의 성능 해석

동영상 정보는 압축된 후에도 정보량이 무척 많고 실시간 복호를 요구한다.

또한 터보 코드의 복호에는 다수의 반복적인 복호가 필요하므로 터보 코드를 동영상 정보의 전송에 적용하려면 효율적인 복호 알고리즘이 필수적이다. 터보 코드와 같은 중첩된 코드의 복호를 위한 최적 알고리즘인 MAP 알고리즘은 다수의 곱셈과 exponential 연산 때문에 무척 많은 계산량을 요구하게 된다. Log 연산을 이용하여 MAP 알고리즘의 곱셈을 덧셈으로 바꾸고 exponential 연산을 줄인 것이 Log-MAP 알고리즘이고 Log-MAP 알고리즘에서 최대값만을 고려함으로써 성능의 저하를 감소하고 계산량을 더욱 줄인 것이 Max-Log-MAP 알고리즘이다^[6]. 또한 Viterbi 알고리즘을 수정하여 soft decision value를 출력하는 SOVA(soft output Viterbi algorithm)는 Max-Log-MAP 알고리즘에 비해서 절반 정도의 계산량을 필요로 하는데 성능은 다소 떨어진다^[7]. SOVA를 수정하여 Max-Log-MAP 알고리즘과 동일한 성능을 보이는 알고리즘이 modified SOVA이다^[8]. 따라서 본 논문에서는 동영상의 정보량과 실시간 복호를 고려하여 Max-Log-MAP 알고리즘을 사용하면서 반복 복호의 수를 8로 제한하였다.

한편 터보 부호화기는 보통 RSC(recursive systematic convolutional) 부호기와 인터리버로 구성되는데 인터리버의 크기에 따라서 터보 코드가 적용되는 블록의 크기가 정해진다. 그런데 동영상 전송 시스템에서 압축된 동영상의 GOB 단위로 터보 코드를 부가하는 경우 각 GOB의 크기가 가변이

고 GOB 단위로 동기 신호가 있을 때는 바이트 별로 정렬되어 있다는 사실을 고려해야 한다. 즉 크기가 8의 정수 배의 범위에서 가변될 수 있는 바이트 정렬 가변블록 크기의 터보 코드가 사용되어야 효과적이다. 이를 위해서는 터보 코드에서 사용되는 인터리버의 크기를 가변으로 해야 한다. 그런데 터보 코드에서 많이 사용되는 인터리버인 랜덤 인터리버는 특성상 크기를 가변으로 하려면 인터리버가 각각의 크기에 대해서 따로 정의되어야 하므로 이를 구현하는 것은 현실적으로 힘들다. 랜덤 인터리버의 대안으로 인터리버의 크기를 8의 정수 배로 쉽게 변화시킬 수 있는 간단한 블록 인터리버를 생각할 수 있다. 그런데 블록 인터리버는 구조가 매우 규칙적이어서 입, 출력의 상관성을 제거하는 능력이 떨어져서 랜덤 인터리버에 비해서 성능이 크게 떨어진다. 따라서 랜덤 인터리버와 같이 입, 출력의 상관성을 제거하는 특성을 갖고 있으면서 어느 정도의 규칙성을 갖고 있어서 인터리버의 크기가 변해도 쉽게 구현 가능한 인터리버가 가변 블록 크기 터보 코드에 적합하다. 이러한 특성을 만족시키는 터보 코드를 위한 인터리버 중에서 JPL 인터리버가 있다¹³⁾. 또한 최근 실용화가 활발히 진행되고 있는 3GPP와 3GPP2 표준에서 사용되는 터보 코드를 위한 인터리버 역시 크기를 가변으로 할 수 있다¹⁴⁾. 본 논문에서는 3GPP 표준에서 정의된 터보 코드를 사용하였는데 부호기의 구조를 그림 5에 도시하였다. 3GPP 표준에서 사용되는 터보 코드의 인터리버는 가변크기 구현이 용이하며 랜덤 인터리버에 근접하는 불규칙성을 갖는다.

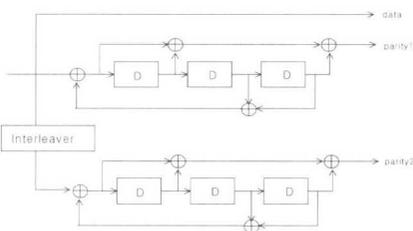


그림 5 3GPP 표준에서 사용되는 터보 코드의 부호기 구조

한편 터보 부호화기에서 생성하는 두개의 패리티 비트의 적절한 평처링을 통해서 원하는 부호화율을 구현할 수 있다. 평처링 기법 중에서 낮은 부호화율에서 전송되는 패리티 비트가 높은 부호화율에서 전송되는 패리티 비트를 반드시 포함하는 RC의 특

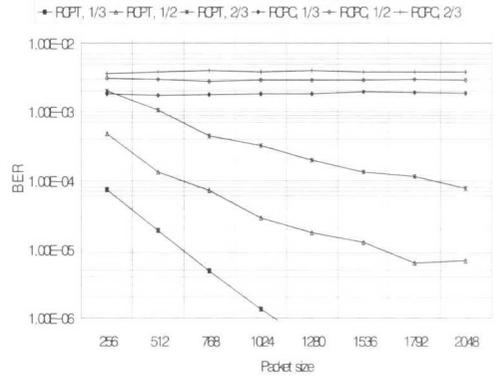


그림 6 시변 레일리페이딩 채널에서 RCPT code와 RCPC code의 BER 성능 비교 (RCPT code: 고속의 modified SOVA, 8 iterations, Es/No: 20dB, Doppler frequency vd: 0.00067).

성을 만족하는 것이 차별적으로 보호를 수행하는 UEP (unequal error protection) 적용에 적합하다. 평처링 과정을 통해서 구성된 일반적인 부호화율을 갖는 터보 코드를 RCPT(rate compatible punctured turbo) 코드라 부른다. RCPT 코드의 부호화 성능을 측정하기 위해서 시변 레일리페이딩 채널에서 블록 크기를 변화시킬 때 BER(bit error rate)을 구하여 그림 6과 그림 7에 제시하였다.

전술한 바와 같이 동영상 정보의 실시간 처리를 고려하여 터보 코드의 복호에 사용되는 반복 복호의 수는 8로 제한하였다. Eb/No가 20.0dB인 시변 레일리페이딩 채널 환경에서 BER과 패킷 에러율(packet error rate) 결과를 제시하였는데 RCPT 코드는 H.223-Annex C에 정의된 RCPC 부호와 비교할 때 BER 측면에서 매우 우수한 성능을 보인다.

특히 오류정정 부호의 비중이 높고 블록의 크기가 클수록 RCPT 코드와 RCPC 코드의 성능 차이는 커진다. 특히 RCPT 부호의 경우 블록 크기가 커질수록 BER은 크게 감소하고 블록의 크기가 커질수록 패킷 에러도 감소하는 경향을 보인다. 압축된 동영상의 경우 인트라 블록의 정보량이 크고 오류 전과 등을 고려하였을 때 인트라 블록에서 오류가 발생하지 않는 것이 중요하므로 블록의 크기가 클 때 패킷 오류가 감소하는 것은 안정적인 동영상 전송을 위해서 매우 바람직한 특성이라고 생각된다.

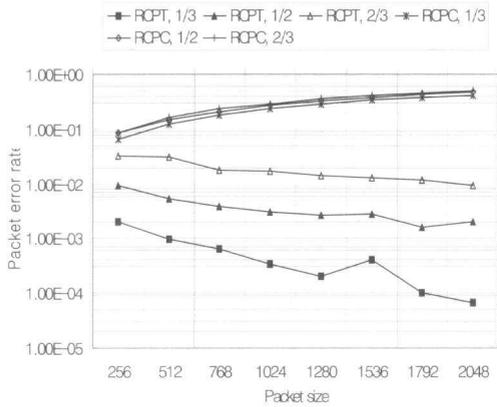


그림 7. 시변 레일리페이딩 채널에서 RCPT code와 RCPC code의 packet error rate 성능 비교 (그림 6과 동일 조건).

IV. 바이트정렬 가변길이 터보 코드를 사용한 동영상 전송 시스템의 성능 해석

4.1. 고정된 오류정정 부호화율 조건에서의 동영상 전송 시스템의 부호화율 최적화

H.263+ 기법으로 부호화된 동영상에 H.223 다중화 (multiplex) 프로토콜에서 오류정정 부호가 부가되는 과정을 그림 8에 도시하였다^[3]. 먼저 H.263+ 압축 기법으로 부호화된 비트열이 AL-SDU를 구성한다. 다음에 오류정정 부호가 부가되는 블록마다 AL-SDU의 오류 검출을 위한 CRC(cyclic redundancy code)와 길쌈 부호 (convolutional code)의 경우에 트렐리스 종료를 위한 TB(tail bits)가 부가된다. 이어서 임의의 전송률로 구현하기 위해서 패리티 비트를 평처리하는 과정을 거치고 CF(control field)가 부가되어서 AL-PDU(adaptation layer - protocol data unit)를 구성하고 이것이 다중화 계층(multiplex layer)의 입력이 되어서 다중화가 이루어진다. MUX-SDU와 MUX-PDU를 처리하는 다중화 계층에서는 각 MUX-SDU를 구분할 수 있는 flag를 사용함으로써 AL-PDU의 경계를 알아낸다. AL-PDU의 경계가 정해졌으면 각 AL-PDU에 속하는 데이터의 바이트 수를 구할 수 있고 이는 오류정정 부호가 부가된 바이트 수이다. 만일 오류정정 부호화율이 정해져 있다면 AL-SDU의 바이트 수도 구할 수 있게 된다.

먼저 H.263+ 기법으로 압축된 동영상 신호를

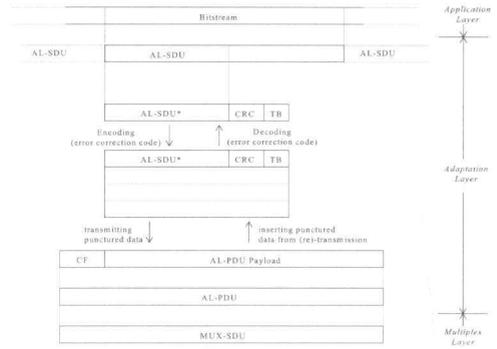


그림 8. H.223 계층에서 오류정정 부호의 적용.

RCPC 코드와 바이트정렬 가변크기 터보 코드를 사용하여 오류정정 부호화를 하였을 때 AWGN 채널과 시변 레일리 페이딩 채널에서 압축 부호화율과 오류정정 부호화율을 동시에 최적화할 수 있다. 만일 전체 전송률이 R_e 로 고정되어 있고 오류정정 부호화율이 γ (r/n) 라면 압축 부호화에 할당된 비트율과 오류정정 부호화에 할당된 비트율이 각각 $R_s (= \gamma \cdot R_e)$, $R_c (= (1 - \gamma) \cdot R_e)$ 로 오류정정 부호화율의 함수가 된다. 전송 채널의 상태를 S_c 라 하고 압축 부호화와 오류정정 부호화로 인한 왜곡 D_s , D_c 가 서로 독립이라면, 전체 왜곡 D_e 는 다음 식과 같이 나타난다^{[2],[12]}.

$$D_e(\gamma, S_c) = D_s(R_s(\gamma)) + D_c(R_c(\gamma), S_c) \tag{4}$$

채널의 상태 S_c 는 AWGN과 상관된 레일리 페이딩 채널에서 전송되는 신호의 한 심볼과 채널의 가산 잡음비인 E_s/N_0 의 함수로 정해진다. 그런데 전송 채널의 상태가 결정되고 전체 전송률이 고정된 경우에는 동영상의 압축과 전송으로 인해 발생하는 전체 왜곡은 오류정정 부호화율 γ 의 함수로 생각할 수 있다. 일반적으로 전체 전송률이 고정되어 있을 때 오류정정 부호화율 γ 의 값이 작아져서 오류정정 부호의 비중이 높아질수록 영상 압축 부호화에 사용되는 정보량은 줄어들게 되므로 복원되는 영상의 화질은 전송 오류가 없을 때는 떨어지지만 전송 오류에 강인하게 된다. 반대로 오류정정 부호의 비중이 작아지게 되면 전송 오류가 없을 때

복원되는 영상의 화질은 좋아지지만 전송 오류에는 취약하게 된다. 따라서 주어진 채널의 환경 하에서 전체 동영상 전송 시스템의 성능이 최적인 오류정정 부호화율을 구할 수 있다. 식 (4)의 전체 왜곡 D_e 를 프레임 별로 구하고 전체 프레임에 대한 평균 D_e 을 구한 후에 $PSNR_e$ 을 구하여 성능 평가의 척도로 사용하였다²⁾.

$$PSNR_e = 10 \log_{10} (255^2 / D_e) \quad (5)$$

본 논문에서는 동영상 압축을 위하여 H.263+의 annex D, F, J, T option을 사용하여 부호화 효율을 높이면서 동시에 GOB 단위의 동기부호 (synchronization code) 삽입과 오류전파를 막기 위한 인트라 블록 사용을 통한 오류에 강인한 부호화기를 구성하였다.

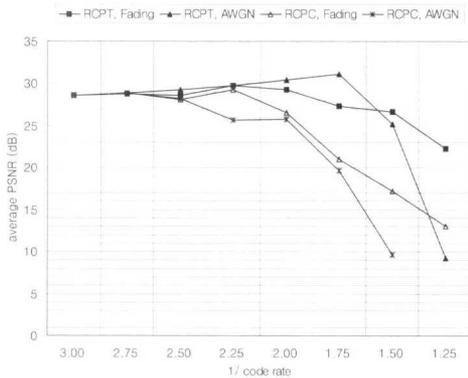


그림 9. RCPC와 RCPT code의 평균 PSNR 성능 비교 (Carphone, 오류정정 부호화율의 역수의 함수임, 시변 레일리 페이딩 채널의 E_s/No : 20.0dB, AWGN 채널의 E_s/No : 1.0dB, 전체 전송률: 96000bps).

이때 Foreman 영상과 Carphone 영상을 전체 전송률 96kbps로 부호화하였을 때 오류정정 부호화율을 1/3~8/10으로 변화시키면서 영상 부호화 성능을 측정하였다. 그림 9와 그림 10에 시변 레일리 페이딩 채널과 AWGN 채널 환경에 대한 PSNR 성능을 도시하였다.

RCPC 코드의 경우 레일리 페이딩 채널에서는 채널 부호화율 γ 가 0.4 이하가 되어야 전송 오류로 인한 영향을 거의 받지 않는다는 사실을 알 수 있었다. 제안하는 가변크기 RCPT 코드를 사용한 경

우에는 채널 부호화율이 2/3 정도가 되어도 전송 오류에 큰 영향을 받지 않았고 전체적으로 RCPC 부호를 사용한 경우보다 전송 오류에 매우 강인한 특성을 보인다.

4.2. 채널 상태 변화에 적응적인 오류정정 부호화율을 사용한 동영상 전송

시변 레일리 페이딩 채널 환경에서 압축된 동영상을 전송할 때 채널의 상태변화에 따라 오류정정 부호화율을 적응적으로 조정하면 전송 오류에 강인하고 효율적인 전송을 구현할 수 있다. 즉, 채널의 상태가 좋지 않을 때는 오류정정 부호의 비중을 높여 전송 오류에 강인하도록 하고 채널의 상태가 좋을 때는 오류정정 부호를 줄여서 전체 전송률을 낮추는 방향으로 오류정정 부호의 비중을 조정할 수 있다. 이를 위해서는 채널의 상태를 추정하는 기법이 필요하다.

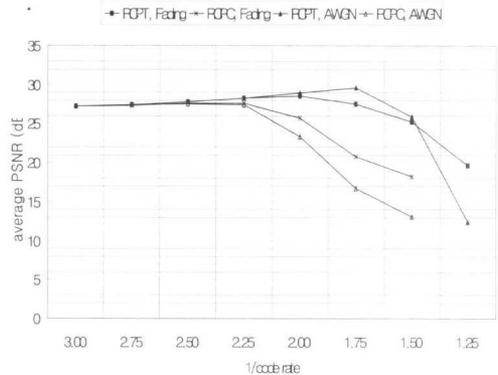


그림 10. RCPC와 RCPT code의 평균 PSNR 성능 비교 (Foreman, 그림 9와 같은 조건).

식 (1)에서 가산 백색 가우시안 잡음 n 은 그 속성상 예측할 수 없는 값인 반면에 레일리 페이딩으로 인한 진폭값 a 는 시변 채널의 특성상 상관성을 갖는다. 따라서 가산 잡음의 영향을 최대한 배제한 레일리 페이딩으로 인한 진폭의 변화를 예측하여 채널의 상태로 하였다. 레일리 페이딩으로 인한 진폭 값을 예측하였을 때 진폭 값이 작을 때에는 가산 잡음에 의한 영향을 많이 받아서 오류 발생 확률이 높아지기 때문에 오류정정 부호를 늘리는 것

이 좋고 진폭 값이 클 때에는 가산 잡음에 의한 영향을 작게 받기 때문에 오류정정 부호의 비중을 줄여도 좋다. 레일리 페이딩에 의한 진폭 값을 예측하기 위해서는 적응 알고리즘으로 많이 사용되는 LMS(least mean square) 알고리즘을 사용하였다. 그런데 수신 신호인 y 값에서 불규칙한 특성을 갖는 가산 잡음에 의한 영향을 최소화하기 위해서 다음과 같이 수신 신호 y 의 제곱의 평균 값 w_n 을 계산한다.

$$w_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-K+1}^n y_i^2}{K}} \quad (6)$$

다음에 w_n 신호를 다음과 같이 적응 필터(adaptive filter)를 통과 시켜 D sample 후의 채널의 상태 값 p_{n+D} 를 추정한다.

$$p_{n+D} = \sum_{i=0}^{L-1} f_i \cdot w_{n-i} \quad (7)$$

이때 적응 필터는 채널 상태 예측을 위한 적응 필터로서 필터의 계수 값 f_i 는 다음과 같은 LMS 알고리즘에 의해서 갱신된다.

$$e = w_n - \sum_{i=0}^{L-1} f_i \cdot w_{n-D-i} \quad (8)$$

$$f_i = f_i + 2\mu \cdot e \cdot w_{i-D} \quad (i = 0, \dots, L-1) \quad (9)$$

이때 μ 는 수렴도를 결정하는 스텝 크기를 의미한다. 이러한 방법으로 오류정정 부호가 부가되는 시점에서 채널의 상태를 예측하고 채널의 상태에 따라서 오류정정 부호화율을 조절할 수 있다. 이러한 채널 상태 예측 기법을 사용하여 채널의 상태에 따라 오류정정 부호화율을 변화시켰을 때 고정된 부호화율을 사용하였을 때의 성능과 비교하였다. 먼저 채널 상태 예측 기법의 동작 상태를 도시하기 위해서 식 (6)의 K 값은 20, 식 (7)~(9)의 D 값은 200, 필터 길이 L 은 10으로 하였을 때 페이딩 채널의 크기 값과 식 (7)의 추정치 p_{n+D} 값을 그림 11에 함께 도시하였다.

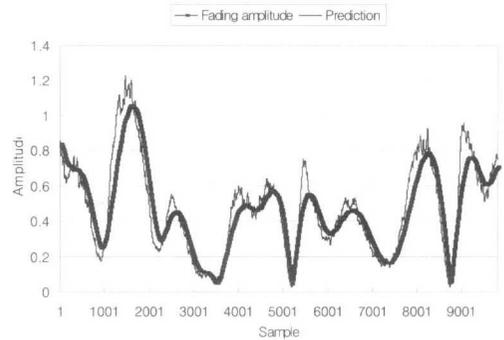


그림 11. 시변 페이딩 채널의 진폭과 추정치.

채널의 상태로 사용된 페이딩 채널의 진폭의 크기가 크면 가산 잡음으로 인한 영향을 적게 받기 때문에 오류정정 부호의 비중을 줄여도 되고 진폭의 크기가 작으면 가산 잡음의 영향을 크게 받기 때문에 오류정정 부호의 비중을 높여야 한다. 본 논문에서는 예측된 진폭의 크기가 0.6과 1.0일 때를 임계값으로 하여 각 임계값을 기준으로 오류정정 부호화율을 3가지 상태로 적응적으로 변화시켰을 때의 결과와 고정된 오류정정 부호화율을 사용하였을 때의 결과를 비교하였다. 성능 평가를 위해서 복원된 영상의 평균 PSNR 결과와 압축된 video packet의 BER 결과를 그림 12와 그림 13에 제시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 채널 상태 예측을 하여 오류정정 부호화율을 변화시킨 경우가 고정된 오류정정 부호화율을 사용한 결과에 비해서 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있었다. 특히 전체 전송률이 낮을 때 적응 부호화율을 사용한 경우가 고정 부호화율을 사용한 경우에 비해서 전체 성능이 우수한 사실을 알 수 있다.

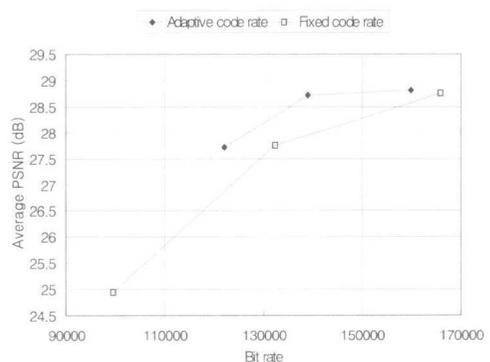


그림 12. 평균 PSNR 비교 (Foreman).

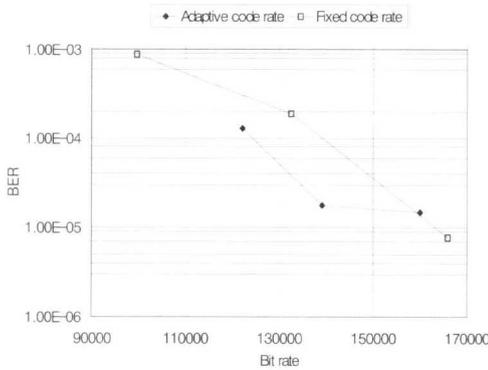


그림 13. 동영상 패킷에 대한 평균 BER (Foreman).

V. 결론

본 논문에서는 이동통신 환경에서 H.263+ 기법으로 압축된 동영상을 전송할 때 오류정정 기법으로 터보 코드를 사용하고 채널의 상태에 맞는 적응적 부호화율의 사용을 제안하였다. 터보 코드는 이론적 한계치에 근접하는 우수한 성능을 보이는 데 본 논문에서는 동영상에 터보 코드를 효율적으로 적용하기 위해서 복호 알고리즘으로 Max-Log-MAP을 사용하고 가변블록크기를 갖는 바이트정렬 가변길이 터보 코드의 사용을 제안하였다. 또한 터보 코드의 성능 평가 결과 터보 코드가 동영상의 인트라 프레임의 정보에 더욱 강한 오류정정 능력을 보인다는 사실을 입증하였다. 이는 압축된 동영상 정보의 오류 전파를 고려하면 전송 오류를 줄이는 데 매우 좋은 특성이다. 또한 이동 통신 채널을 위한 시변 레일리 페이딩 채널을 모델링하고 채널의 상태를 적응적으로 예측하여 채널의 상태에 맞는 오류정정 부호화율을 사용하는 동영상 전송 시스템의 성능을 분석하여 고정 부호화율을 사용하는 방식에 비해서 전송 오류를 감소시킴을 확인하였다.

참고 문헌

[1] N. Farber, B. Girod, and J. Villasenor, "Extension of ITU-T recommendation H.324 for error-resilient video transmission," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, pp. 120-128, June 1998.

[2] K. Stuhlmuller, N. Farber, M. Link, and B.

Girod, "Analysis of video transmission over lossy channels," *IEEE Journal on Select. Areas in Commun.*, vol. 18, pp. 1012-1032, June 2000.

[3] ITU-T, "Multiplexing protocol for low bitrate multimedia communication over highly error-prone channels, draft ITU-T recommendation H.223-Annex C," Dec. 1998.

[4] ITU-T, "Optional multiplexing protocol for low bitrate multimedia communication over highly error-prone channel, draft ITU-T recommendation H.223-Annex D," Dec. 1998.

[5] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo codes," in *Proc. IEEE Intl. Conf. Communications - ICC '93*, May 1993, pp.1064-1070.

[6] P. Robertson, E. Villebrun, and P. Hoeher, "A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain," in *Proc. IEEE Intl. Conf. Communications ICC '95*, June 1995, pp. 1009-1013.

[7] J. Hagenauer and P. Hoeher, "A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications," in *Proc. IEEE Globecom*, 1989, pp. 1680-1686.

[8] M. P. C. Fossorier, F. Burkert, S. Lin, and J. Hagenauer "On the equivalence between SOVA and Max-Log-MAP decodings," *IEEE Commun. Letters*, vol. 2, no. 5, pp.137-139, 1998.

[9] S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi, and F. Pollara, "Soft-output decoding algorithms in iterative decoding of turbo codes," *TDA Progress Rep.* 42-124, JPL, pp. 63-87, Feb. 1996.

[10] A. Anatasopoulos and K. M. Chugg, "An efficient method for simulation of frequency selective isotropic Rayleigh fading," in *Proc. Vehicular Technology Conference*, May 1997, pp. 2084-2088.

[11] R. Clarke, "A statistical theory of mobile radio reception," *Bell System Tech. J.*, vol. 47, pp. 957-1000, 1968.

